



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources



Optimizing soil management by identifying and prioritizing the factors affecting soil erosion in Fars province with grey multiple-criteria decision-making approach

Seyed Mehdi Abtahi^{*1}, Zahra Mohammadi²

1. Corresponding Author, Dept. of Management, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran. E-mail: abtahimailbox@gmail.com
2. M.Sc. Student, Dept. of Governmental Management, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. E-mail: zmohammadi238@gmail.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 03.08.2022

Revised: 07.15.2022

Accepted: 08.27.2022

Keywords:

Grey ARAS,
Grey SWARA,
Soil erosion,
Soil management

ABSTRACT

Background and Objectives: Soil erosion is one of the main phenomena related to soil degradation that threatens environmental sustainability and soil productivity. It has always been a major environmental challenge worldwide. Soil erosion and its harmful consequences are a serious obstacle to the development and progress of countries and have adverse effects on agricultural production, water quality, and ecosystem health. Soil erosion control intends to promote innovative land management approaches. Soil conservation methods reduce soil erosion, improve soil structure and water uptake, and maintain soil moisture. Therefore, it is necessary to study soil erosion factors and provide management strategies to mitigate it. This study identifies and prioritizes soil erosion factors and strategies to prevent soil erosion in Fars, Iran.

Materials and Methods: This research is applied in terms of purpose, with a descriptive-survey nature. This study presents a combined approach based on Grey SWARA and Grey ARAS methods to identify soil erosion factors and prioritize methods to prevent soil erosion. After literature review and interviewing an expert panel, the soil erosion factors in Fars were identified and classified into technical, chemical, social, environmental, and climatic. The weight of the criteria was calculated by the Grey SWARA method. Then, the suggested methods and strategies were identified and provided to the panel to evaluate based on the criteria by completing a questionnaire. Then, they were finally prioritized using the Grey ARAS approach. In order to consider the uncertainty and indeterminacy of opinions, grey numbers were used in the calculations.

Results: The results indicated the following as the most important factors affecting soil erosion, respectively: "soil erodibility," "low aggregate stability," "deforestation and ecosystem degradation," "cultivation on slopes and plowing of sloping lands," "loss of vegetation," and "reduced organic matter." The most important preventative measures were prioritized as follows: "ratifying and implementing regulations to preserve soil and natural resources and the developing training and promoting workshops, promoting conservation tillage and smart agriculture, adding organic matter to the soil, mulching the soil with organic or artificial material, and adopting bioengineering methods, such as soil stabilizing bacteria" and "rangeland enclosure and fencing and promotion of industrial livestock."

Conclusion: As unfortunately, in Iran, soil erosion is several times the global average, and a large volume of good soil becomes out of reach per year, it requires serious management measures. More specifically, an extensive management plan should address soil erosion in Fars. It can be expected that findings in this research will help water, soil, and agriculture decision-makers make the most appropriate decisions and solutions to solve soil erosion problems.

Cite this article: Abtahi, Seyed Mehdi, Mohammadi, Zahra. 2022. Optimizing soil management by identifying and prioritizing the factors affecting soil erosion in Fars province with grey multiple-criteria decision-making approach. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12 (3), 1-25.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.20024.2054

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



بهبودسازی مدیریت خاک با شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک در استان فارس با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره خاکستری

سید مهدی ابطی*^۱، زهرا محمدی^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه مدیریت، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران. رایانامه: abtahimailbox@gmail.com
۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مدیریت دولتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
رایانامه: zmohammadi238@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: فرسایش خاک یکی از پدیده‌های اصلی تخریب خاک است که پایداری محیط‌زیست و بهره‌وری خاک را تهدید می‌کند و همواره یک مشکل زیست‌محیطی عمده در بسیاری از نقاط جهان بوده است. فرسایش خاک و پیامدهای زیان‌بار آن مانعی اساسی در برابر توسعه و پیشرفت کشور است و تأثیرات منفی بر تولید کشاورزی، کیفیت منابع آب و سلامت اکوسیستم کشور دارد. کنترل فرسایش خاک موضوعی برای تشویق رویکردهای نوآورانه در تکنیک‌ها و روش‌های مدیریت زمین است. روش‌های حفاظت از خاک، فرسایش خاک را کاهش داده، ساختار خاک و میزان استحصال آب را بهبود می‌بخشد و رطوبت خاک را حفظ می‌کند. بنابراین بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک و ارائه راهکارهای مدیریتی به منظور کاهش فرسایش خاک ضروری است. هدف این مطالعه، شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک و راهکارهای جلوگیری از فرسایش خاک در استان فارس است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵	مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و براساس ماهیت توصیفی-پیمایشی است. در این پژوهش یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر روش سوارا خاکستری و آراس خاکستری به منظور شناسایی عوامل تأثیرگذار بر فرسایش خاک و اولویت‌بندی روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک ارائه شده است. در ابتدا با مطالعه پیشینه پژوهش و مصاحبه با کارشناسان حوزه آب و خاک، عوامل فرسایش خاک در استان فارس شناسایی و در پنج حوزه شامل حوزه فنی، شیمیایی، اجتماعی، زیست‌محیطی و اقلیمی دسته‌بندی شدند. وزن معیارها با روش سوارا خاکستری محاسبه گردید. سپس روش‌ها و راهکارهای جلوگیری از فرسایش خاک شناسایی شدند و کارشناسان آن‌ها را براساس معیارها از طریق تکمیل پرسشنامه ارزیابی کردند و در نهایت با استفاده از رویکرد آراس خاکستری اولویت‌بندی شدند. به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت و اطمینان در نظر کارشناسان، از اعداد خاکستری در انجام محاسبات استفاده گردید.
واژه‌های کلیدی: آراس خاکستری، سوارا خاکستری، فرسایش خاک، مدیریت خاک	

یافته‌ها: با توجه به نتایج به دست آمده معیارهای «فرسایش‌پذیری خاک»، «پایداری پایین خاکدانه»، «جنگل‌زدایی و تخریب زیست بوم»، «کشت در دامنه‌های شیب‌دار و شخم اراضی شیب‌دار»، «از بین رفتن پوشش گیاهی» و «کاهش مواد آلی خاک» به ترتیب مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش خاک بودند. در اولویت‌بندی روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک نیز «تصویب و اجرای قوانین حفاظت از خاک و منابع طبیعی نظیر جنگل‌ها و ترویج گارگاه‌های آموزشی و ترویجی»، «ترویج خاک‌ورزی حفاظتی و ترویج کشاورزی هوشمند»، «افزودن مواد آلی به خاک»، «مالچ‌پاشی آلی یا مصنوعی در سطح خاک و همچنین به‌کارگیری روش‌های مهندسی زیستی مانند باکتری‌های تثبیت‌کننده خاک» و «فرق مرتع و پرچین‌بندی و ترویج دامداری صنعتی» به عنوان مهم‌ترین گزینه‌ها برای جلوگیری از فرسایش خاک انتخاب شدند.

نتیجه‌گیری: با توجه به این‌که متأسفانه در ایران فرسایش خاک چندین برابر میانگین جهانی است و سالانه حجم عظیمی از خاک مرغوب از دسترس خارج می‌شود و نیازمند اقدامات جدی مدیریتی می‌باشد، هم‌چنین فرسایش خاک در استان فارس نیز باید توسط یک برنامه احیای وسیع کنترل شود، انتظار می‌رود نتایج این پژوهش بتواند به مدیران و تصمیم‌گیرندگان در بخش‌های اجرایی حوزه آب و خاک و کشاورزی به منظور اتخاذ مناسب‌ترین تصمیمات و راه‌حل‌ها برای حل معضلات فرسایش خاک کمک کند.

استناد: ابطحی، سید مهدی، محمدی، زهرا (۱۴۰۱). بهینه‌سازی مدیریت خاک با شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک در استان فارس با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره خاکستری. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۲ (۳)، ۱-۲۵.

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.20024.2054



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

خاک یکی از منابع حیاتی است که نقش مهمی در تولید کشاورزی پایدار و بهبود اقتصاد دارد (۱). در دهه‌های اخیر، تخریب زمین به یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در سرتاسر جهان تبدیل شده است (۲). زمین بسیار ارزشمند است و نقش اساسی در حیات همه موجودات زنده دارد، بنابراین نیاز فوری به توقف تخریب زمین و ایجاد چارچوبی برای سیستم‌های پایدار زمین وجود دارد. علم خاک یکی از رشته‌های مرتبط با زمین است و با اهداف توسعه پایدار مرتبط است. عوامل فرسایش خاک را می‌توان به صورت طبیعی و انسانی دسته‌بندی کرد (۳). فرسایش خاک بیش‌ترین تهدید برای حاصلخیزی و بهره‌وری خاک است که بیش‌تر به دلیل اختلالات انسانی رخ می‌دهد (۴). خاک‌ها از قرن‌ها پیش دستکاری شده‌اند که باعث کاهش مواد مغذی و مواد آلی خاک شده است (۵). فرسایش خاک می‌تواند منجر به تخریب خاک شود که به نوبه خود بر تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد و محیط‌زیست و توسعه اقتصادی را تهدید می‌کند. فرسایش خاک در قرن ۲۱، در سطح قاره‌ای به دلیل تغییر کاربری زمین در حال افزایش است (۶). هم‌چنین منجر به افزایش مشکلات اجتماعی مانند فقر، کاهش بهره‌وری، ناامنی مزمن غذایی، سوء تغذیه فصلی و قحطی می‌شود (۷). فرسایش خاک علاوه بر به خطر انداختن عملکردهای خاک، کیفیت و بهره‌وری سیستم آب‌های شیرین را تحت تأثیر قرار می‌دهد و رسوب، مواد مغذی و آفت‌کش‌ها به آب‌ها منتقل می‌شوند. فرسایش خاک ارتباط نزدیکی با استفاده از زمین و مدیریت خاک دارد که بر پایداری کشاورزی تأثیر می‌گذارد (۸). با توجه به این‌که فرسایش خاک منجر به طیف وسیعی از مشکلات می‌شود باید سعی کرد با استراتژی‌های مبتنی بر

طبیعت مشکلات فرسایش خاک حل شود (۹). فرسایش خاک به‌طور هم‌زمان، توسط عوامل متعددی ایجاد می‌شود که شناسایی عوامل کنترل‌کننده غالب و تعیین سهم هر عامل برای حفظ منابع آب و خاک مفید خواهد بود (۶). در ادامه به برخی از پژوهش‌های انجام شده در حوزه فرسایش خاک اشاره می‌شود: سینشاو و همکاران (۲۰۲۱) پژوهشی به منظور بهبود برنامه‌ریزی حفاظت از آب و خاک در اتیوپی انجام دادند. در این پژوهش اولویت‌بندی مناطق مستعد فرسایش خاک با استفاده از منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ (AHP) انجام شده است. عواملی هم‌چون کاربری زمین، شیب، بارندگی، مجاورت رودخانه، رطوبت خاک به عنوان عوامل مؤثر بر فرسایش خاک در نظر گرفته شدند (۱۰). أسلم و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای تلفیق روش تحلیل سلسله‌مراتبی و ابزار جی آی اس^۲ (GIS) را به منظور تعیین مناطق مستعد فرسایش خاک در ناحیه چیترال پاکستان به کار بردند (۵). بگوم نصیر احمد و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به بررسی سیستماتیک شیوه‌های کنترل فرسایش خاک در زمین‌های کشاورزی در آسیا پرداختند. با توجه به این‌که آسیا یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در جهان است، ضروری است روش‌های کاهش فرسایش خاک در زمین‌های کشاورزی آسیا را بررسی کرد. از جمله روش‌هایی که در این پژوهش به آن اشاره شده است خاک‌ورزی خلاف شیب، مالچ‌پاشی، افزودن کود آلی، کشت چمن، تراس‌بندی و کشت روی خطوط کنتور می‌باشد (۳). همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به منظور اولویت‌بندی فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌های آبخیز قائم‌شهر، مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^۳ (MCDM)

1- Analytical Hierarchy Process
2- Geographic Information System
3- Multiple Criteria Decision Making

از مهم‌ترین نقش‌های تولید، اشتغال و امنیت غذایی ایران را دارد. مسأله فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین معضلات در استان فارس است و یافتن راه‌حل‌های مناسب و اجرای آن‌ها الزامی به نظر می‌رسد. هم‌چنین با توجه به بحران خشکسالی در استان فارس، اگر قرار است آب حفظ شود، باید در درجه اول به فکر جلوگیری از فرسایش و بازآفرینی خاک بود. از این‌رو هدف اصلی این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک در استان فارس با مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره خاکستری و ارائه و اولویت‌بندی راهکارهای مدیریتی به منظور پیشگیری و کاهش فرسایش خاک در استان فارس می‌باشد و تأکید بر تصمیم‌گیری‌های کارا، با معرفی و کاربرد روش‌های علمی تصمیم‌گیری است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مطالعاتی، استان فارس و عمدتاً در منطقه ممسنی و رستم می‌باشد. استان فارس یکی از استان‌های ایران است که در جنوب کشور واقع شده است. استان فارس با مساحتی در حدود ۱۲۳۹۶۶/۴ کیلومترمربع، چهارمین استان بزرگ کشور است و در مختصات جغرافیایی ۴۲° - ۵۰° تا ۳۶° - ۵۵° طول شرقی و ۲۰° - ۲۷° تا ۴۲° - ۳۰° عرض شمالی واقع شده است. از این مساحت حدود ۳۰٪ دشت و ۷۰٪ ارتفاعات است. آب و هوای استان در نقاط مختلف به سه گونه کوهستانی، معتدل و گرم تقسیم می‌شود و از نظر هیدرولوژیکی، استان فارس در منطقه خشک واقع شده است (شکل ۱). شکل ۲ نقشه فرسایش خاک (تن بر هکتار بر سال) ایران با استفاده از مدل RUSLE را نشان می‌دهد. در همه شهرستان‌های استان فارس مشکل فرسایش خاک دیده می‌شود که اغلب علل انسانی دارد. فرسایش خاک در کل استان فارس فراگیر است و می‌توان گفت نیمی از

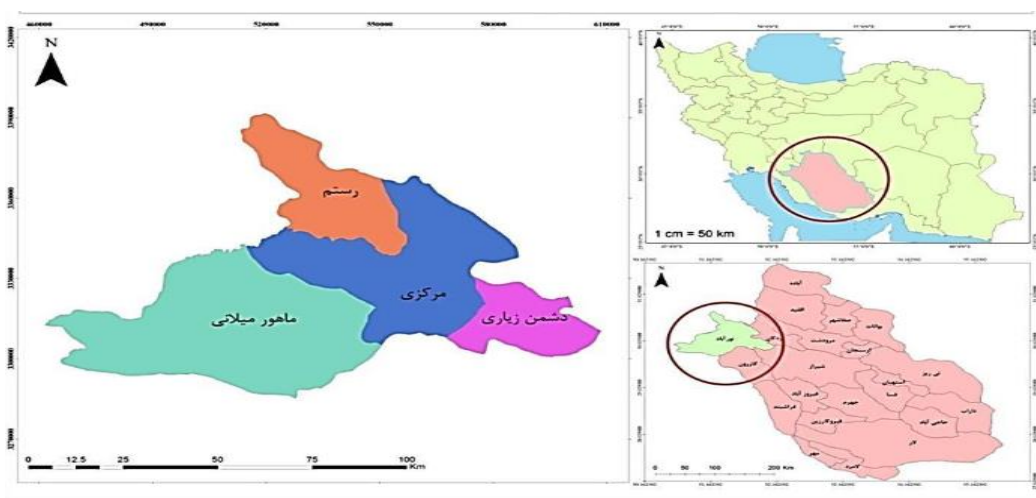
تاپسیس^۱ (TOPSIS)، ویکور^۲ (VIKOR)، ساو^۳ (SAW) و سی اف^۴ (CF) را به کار بردند و نتایج را با هم مقایسه کردند (۹). وحیدی و همکاران (۲۰۲۰) به تحلیل و رتبه‌بندی روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک با استفاده از یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مناطق روستایی شهرستان درمیان در خراسان جنوبی پرداختند. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین-بدترین^۵ (BWM) وزن معیارها و زیرمعیارها محاسبه شده است، سپس روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک با روش ویکور رتبه‌بندی شده‌اند (۱۱). زنگی‌آبادی و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فرآیند فرسایش خاک در مراتع نیمه خشک کلات واقع در شمال شرق استان خراسان رضوی پرداختند. که براساس نتایج رگرسیون چندمتغیره، درصد تراکم پوشش گیاهی، درصد سنگ‌ریزه درشت در لایه سطحی خاک و درصد شیب زمین به ترتیب مهم‌ترین عوامل در میزان فرسایش خاک می‌باشند (۱۲).

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد پژوهشی جامع از دلایل فرسایش خاک و ارائه راه‌حل‌های مدیریتی در استان فارس انجام نشده است و تعداد مطالعات انجام شده محدود می‌باشد. وضعیت خاک در استان فارس بحرانی است و به دلیل پراکندگی اقلیم، سطح وسیع کشاورزی و مساحت از جمله پرفرسایش‌ترین استان‌های کشور می‌باشد. بخش کشاورزی در استان فارس سهم عمده‌ای از تولید ناخالص ملی را به خود اختصاص داده است و یکی

- 1- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
- 2- Vlsekriterijumska optimizacija I Kompromisno Resenje (means: multi-criteria optimization and compromise solution)
- 3- Simple Additive Weighing
- 4- Compound Factor
- 5- Best-Worst Method

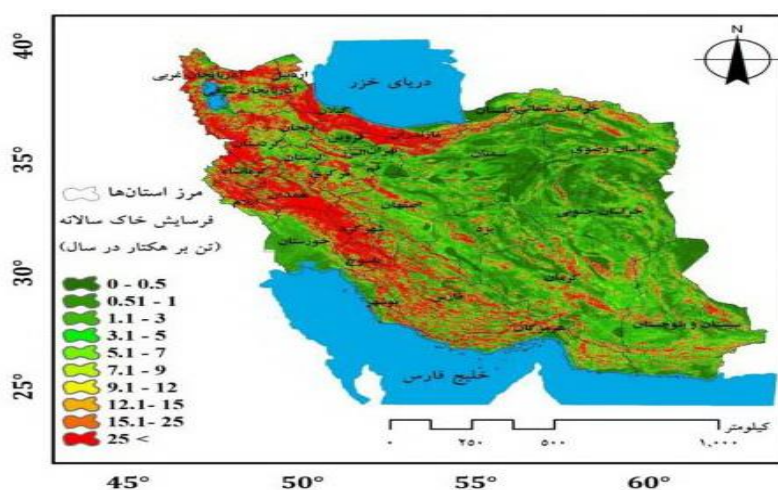
جنگل‌های متراکم عمدتاً بلوط بوده است ولی متأسفانه با افزایش شدید جمعیت، جنگل‌تراشی‌ها شدت گرفت و کوهپایه‌ها و مناطق پست‌تر و زمین‌های شیب‌دار، عمدتاً به زمین‌های کشاورزی کم‌بازده تغییر کاربری داده است و متعاقب آن فرسایش خاک در این مناطق بسیار شدت گرفته است (شکل ۳).

شهرستان‌های استان فارس درگیر فرسایش خاک هستند (شکل ۲). شهرستان ممسنی واقع در شمال غربی استان فارس بوده که متوسط بارندگی سالیانه آن بیش از ۶۰۰ میلی‌متر و با دمای متوسط سالیانه ۲۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. منطقه عمدتاً کوهستانی با دشت‌های میان کوهی می‌باشد که مستند به اسناد تاریخی در گذشته نه چندان دور پوشیده از



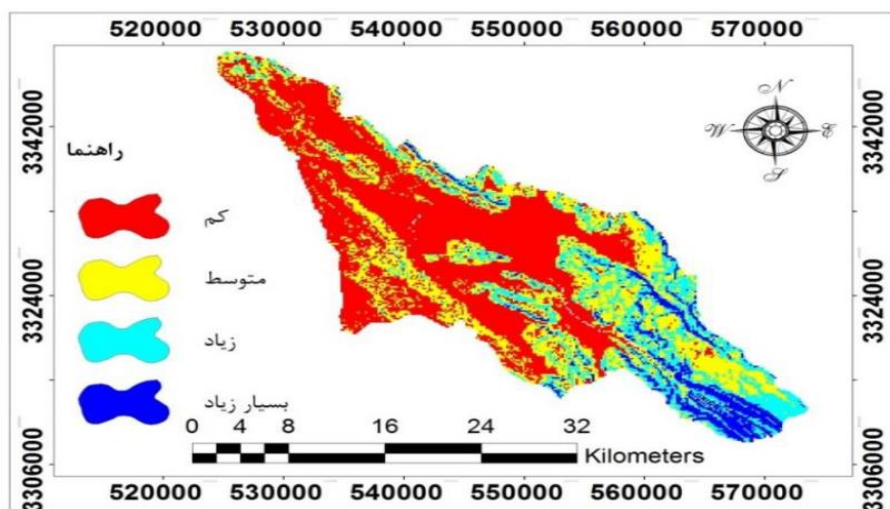
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان فارس و شهرستان ممسنی و رستم.

Figure 1. Geographical map of Fars province and Mamasani and Rostam country.



شکل ۲- نقشه فرسایش خاک ایران (۱۳).

Figure 2. Soil erosion map of Iran (13).



شکل ۳- نقشه فرسایش خاک شهرستان ممسنی (۱۴).

Figure 3. Soil erosion map of Mamasani country (14).

با استفاده از روش سوارا خاکستری^۱ وزن معیارها به دست آمده است. سپس به منظور اولویت بندی روش های جلوگیری از فرسایش خاک، از روش آراس خاکستری^۲ استفاده شده است. به دلیل این که تصمیمات در بخش کشاورزی با عدم اطمینان و قطعیت مواجه است، به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت در نظر کارشناسان، استفاده از روش خاکستری مناسب می باشد. بنابراین در محاسبات این پژوهش از اعداد خاکستری^۳ استفاده گردید. به دلیل آن که در پرسشنامه ها اعداد به صورت کیفی (خیلی کم، کم و...) بیان شده بود، برای تبدیل مقادیر کیفی به اعداد کمی و انجام محاسبات، اعداد خاکستری متناظر با آنها در نظر گرفته شد و وارد ماتریس تصمیم گیری شدند. در ادامه، در مورد روش های به کار رفته در پژوهش توضیحاتی ارائه می گردد.

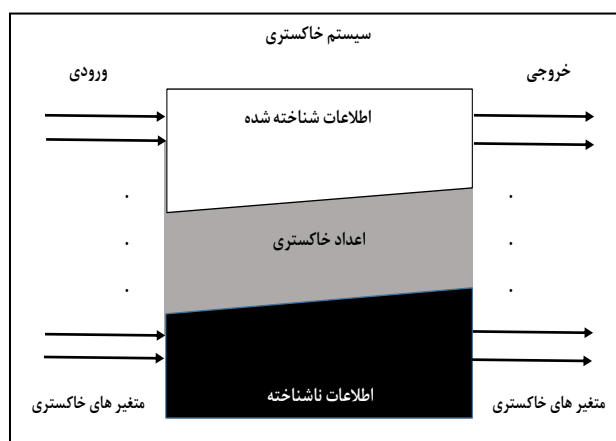
روش تئوری خاکستری: تئوری خاکستری نخستین بار در سال ۱۹۸۲ توسط دنگ مطرح شد. در بسیاری از موارد قضاوت تصمیم گیرندگان اغلب نامطمئن بوده

روش تحقیق: پژوهش حاضر از لحاظ هدف، کاربردی و براساس ماهیت، توصیفی-پیمایشی است؛ و به روش کتابخانه ای-میدانی صورت گرفته است. هدف اصلی پژوهش، شناسایی و اولویت بندی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک و روش های جلوگیری از فرسایش خاک در استان فارس می باشد. در این پژوهش، به منظور تجزیه و تحلیل و اولویت بندی از یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر روش های تصمیم گیری چندمعیاره سورا و آراس خاکستری استفاده شده است. نخست با مطالعه ادبیات و پیشینه پژوهش و مصاحبه با کارشناسان حوزه آب و خاک ۳۹ عامل فرسایش خاک شناسایی شدند سپس با مشورت کارشناسان ۲۹ معیار مهم و تأثیرگذار بر فرسایش خاک در استان فارس انتخاب گردید و در پنج حوزه شامل حوزه فنی، شیمیایی، اجتماعی، زیست محیطی و اقلیمی دسته بندی شدند. معیارها در جدول ۱ ارائه شده است. تیم تصمیم گیری در این پژوهش متشکل از شش نفر از کارشناسان باتجربه در حوزه آب و خاک و کشاورزی در استان فارس بودند که سابقه انجام طرح های پژوهشی در حوزه آب و خاک در استان فارس را داشتند.

1- SWARA-Grey
2- ARAS-Grey
3- Grey number

سیستم‌های موجود در طبیعت کاملاً شناخته شده (اطلاعات سفید) یا کاملاً ناشناخته (اطلاعات سیاه) نیستند بلکه ترکیبی از این دو یعنی به رنگ خاکستری است. که در آن خاکستری بودن به معنای کمبود و نقص اطلاعات و عدم قطعیت می‌باشد. این سیستم‌ها را سیستم‌های خاکستری می‌نامند که مهم‌ترین ویژگی آن‌ها کامل نبودن اطلاعات مربوط به آن سیستم است. شکل ۴ مفهوم یک سیستم خاکستری را نمایش می‌دهد.

و با مقادیر دقیق عددی قابل بیان نمی‌باشد و تصمیم‌گیری در مورد معیارها توسط خبرگان معمولاً به صورت کیفی بیان می‌شود. تئوری خاکستری یکی از روش‌های مناسب برای مطالعه عدم قطعیت و ناکامل بودن اطلاعات است که می‌تواند توسط اعداد و متغیرهای خاکستری به کار رود (۱۵). در دنیای واقعی سیستم‌های گوناگونی وجود دارد. اگر اطلاعات کاملاً شناخته شده یک سیستم با رنگ سفید و اطلاعات کاملاً ناشناخته سیستم با رنگ سیاه تجسم شود، در این صورت اطلاعات مربوط به بیش‌تر



شکل ۴- مفهوم تئوری سیستم‌های خاکستری (۱۶).

Figure 4. The concept of grey systems theory (16).

می‌شود. هنگامی که عدد خاکستری $G \in [\underline{G}, \bar{G}]$ و $\bar{G} = \underline{G}$ باشد، G به عنوان یک عدد سفید تعریف می‌شود (۱۵). اگرچه اعداد خاکستری و فازی مشابه به نظر می‌رسند ولی تفاوت اساسی میان آن‌ها این است که در اعداد خاکستری مقدار دقیق عدد نامشخص است اما بازه‌ای که مقدار آن عدد را در بر می‌گیرد (مقدار دقیق کران چپ و راست) مشخص می‌باشد. اما یک عدد فازی علاوه بر این‌که به صورت یک بازه است، مقدار دقیق کران چپ و راست عدد مشخص نیست و از یک تابع عضویت پیروی می‌کند که بر اساس تجربه خبرگان تعیین می‌شود. تعیین تابع

اعداد خاکستری: عدد خاکستری به عددی گفته می‌شود که مقدار دقیق آن مشخص نیست اما بازه‌ای که مقدار آن را در بر می‌گیرد، شناخته شده است. اعداد خاکستری می‌توانند فقط با کران پایین به صورت $G \in [\underline{G}, \infty)$ یا فقط با کران بالا به شکل $G \in (-\infty, \bar{G}]$ باشند و یا این‌که هم دارای کران پایین \underline{G} و هم دارای کران بالا \bar{G} باشند که به صورت $G \in [\underline{G}, \bar{G}]$ نمایش داده می‌شوند و در این صورت عدد خاکستری بازه‌ای نامیده می‌شوند. زمانی که $G \in [-\infty, \infty)$ باشد و کران بالا و پایین G مشخص نباشد، G به عنوان یک عدد سیاه تعریف

سادگی بیش تری نسبت به اعداد فازی برخوردار باشند
(۱۶).

اگر دو عدد خاکستری زیر مفروض باشند:

$$\otimes G_1 \in [a, b], a < b; \quad (1)$$

$$\otimes G_2 \in [c, d], c < d; \quad (2)$$

و از علامت * به عنوان نماد یک عملیات بین $\otimes G_1$ و $\otimes G_2$ استفاده شود در آن صورت:

$$\otimes G_3 = \otimes G_1 * \otimes G_2 \quad (3)$$

بنابراین باید داشته باشیم: $\otimes G_3$ نیز یک عدد خاکستری بازه‌ای خواهد بود.

$$\otimes G_3 \in [e, f], e < f; \quad (4)$$

جمع، تفریق، ضرب و تقسیم دو عدد خاکستری G_1 و G_2 و قرینه و معکوس هر عدد خاکستری به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\otimes G_1 + \otimes G_2 \in [a + c, b + d]; \quad (5)$$

$$\otimes G_1 - \otimes G_2 = \otimes G_1 + (- \otimes G_2) \in [a - d, b - c]; \quad (6)$$

$$\otimes G_1 \cdot \otimes G_2 \in [\min\{ac, ad, bc, bd\}, \max\{ac, ad, bc, bd\}]; \quad (7)$$

$$- \otimes G \in [-b, -a]; \quad (8)$$

$$\otimes G^{-1} \in \left[\frac{1}{b}, \frac{1}{a} \right], ab > 0 \quad (9)$$

$$\frac{\otimes G_1}{\otimes G_2} = \otimes G_1 \cdot \otimes G_2^{-1} \quad (10)$$

$$\frac{\otimes G_1}{\otimes G_2} \in \left[\min \left\{ \frac{a}{c}, \frac{a}{d}, \frac{b}{c}, \frac{b}{d} \right\}, \max \left\{ \frac{a}{c}, \frac{a}{d}, \frac{b}{c}, \frac{b}{d} \right\} \right] \quad (11)$$

$$K \cdot \otimes G \in [Ka, Kb], K \in \mathcal{R}^+ \quad (12)$$

به یک عدد سفید، سفیدسازی نامیده می‌شود. رابطه ۱۳ ارزش قطعی عدد خاکستری G را بیان می‌کند.

$$W(G) = (1 - t)a + tb$$

کارشناسان صورت می‌گیرد، توصیه شده است (۲۰). یکی از مزایای به‌کارگیری روش سوارا در مقایسه با روش AHP و ANP^۱ این است که تعداد مقایسه‌های زوجی مورد نیاز به‌طور قابل‌توجهی کم‌تر است که این موضوع باعث می‌شود سوارا برای تعیین وزن راحت‌تر باشد (۷). به‌طور کلی ساختار روش سوارا خاکستری شامل مراحل زیر است (۲۱):

گام ۱: مرتب کردن معیارها؛

در ابتدا، معیارهای نهایی شده توسط کارشناسان بر اساس درجه اهمیت و به‌صورت نزولی رتبه‌بندی می‌شوند. بر این اساس مهم‌ترین معیار در رتبه اول و کم‌اهمیت‌ترین معیار در رتبه آخر قرار می‌گیرد.

گام ۲: تعیین اهمیت نسبی هر معیار (S_j)؛

در این مرحله، اهمیت نسبی هر معیار (S_j) نسبت به معیار مهم‌تر قبلی تعیین می‌شود.

گام ۳: تعیین ضریب K_j ؛

ضریب K_j تابعی از مقدار اهمیت نسبی هر معیار است و با استفاده از رابطه ۱۴ محاسبه می‌گردد.

$$K_j = \begin{cases} [1, 1]; j = 1 \\ S_j + [1, 1]; j > 1 \end{cases}$$

سفیدسازی عدد خاکستری: $W(G)$ یک عدد سفید (قطعی) برای نشان دادن ارزش واقعی عدد خاکستری $G \in [a, b]$ می‌باشد. روش تبدیل عدد خاکستری

(۱۳)

به طوری که t در بازه $[0-1]$ قرار دارد. هنگامی که توزیع G نامشخص باشد، $t = \frac{1}{2}$ است که $W(G) = \frac{a+b}{2}$ می‌شود (۱۷).

روش سوارا خاکستری: وزندهی به معیارها یکی از مهم‌ترین مراحل در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره است. کارشناسان در ارزیابی معیارها و وزندهی نقش مهمی دارند و بخشی از فرآیند تصمیم‌گیری هستند. روش سوارا از جمله جدیدترین روش‌هایی است که توسط کرسولین و همکاران (۲۰۱۰) به‌منظور وزندهی به معیارها ابداع شده است. مهم‌ترین برتری این روش نسبت به سایر روش‌های وزندهی، توان آن در ارزیابی دقت نظر کارشناسان درباره معیارهای وزن داده شده است (۱۸). هم‌چنین نسبت به سایر روش‌ها پیچیدگی کم‌تری دارد و زمان مورد نیاز را کاهش می‌دهد. علاوه بر این کارشناسان می‌توانند با یکدیگر مشورت کنند و دانش و تجربه خود را در زمینه مربوطه با یکدیگر به اشتراک بگذارند که این مشورت نتایج به دست آمده را نسبت به سایر روش‌ها دقیق‌تر می‌کند. هم‌چنین درک آن آسان است (۱۹). به‌کارگیری روش سوارا در تصمیم‌گیری‌های سطح بالا و بسیار مهم که براساس توافق جمعی میان

(۱۴)

گام ۴: محاسبه وزن اولیه هر معیار؛

وزن اولیه معیارها را می‌توان با رابطه ۱۵ محاسبه کرد. باید توجه داشت که در این رابطه، وزن معیار

نخست که مهم‌ترین معیار است برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود.

$$q_j = \begin{cases} [1,1]; j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{K_j}; j > 1 \end{cases} \quad (15)$$

گام ۵: محاسبه وزن نرمال نهایی؛

در آخرین مرحله، وزن نهایی معیارها که وزن

نرمال شده نیز محسوب می‌گردد با رابطه ۱۶ محاسبه می‌شود.

$$W_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (16)$$

که در آن، W_j یک عدد خاکستری به صورت $W_j = [\underline{w}_j; \overline{w}_j]$ است که \underline{w}_j کران پایین و \overline{w}_j کران بالای وزن معیار j ام است.

در روش آراس خاکستری مجموع مقادیر وزن‌دار شده و نرمال شده مقادیر معیارها برای هر گزینه که نشان‌دهنده شرایط یک گزینه است، بر مجموع مقادیر وزن‌دار شده و نرمال شده بهترین گزینه تقسیم می‌شود. این نسبت، درجه بهینه^۱ بودن نامیده می‌شود. براساس این درجه بهینه بودن گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شود. مراحل اجرای روش آراس خاکستری به شرح زیر است (۲۴):

روش آراس خاکستری: روش آراس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در سال ۲۰۱۰ توسط زاوادسکاس و ترکسیس معرفی شد و کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف یافت. این روش یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب بهترین گزینه است. بهترین گزینه آن است که بیش‌ترین فاصله را از عوامل منفی و کم‌ترین فاصله را از عوامل مثبت داشته باشد. کاربرد گسترده و رشد سریع آن به دلیل مراحل ساده و آسان آن است. و نتایج معقول، قابل قبول و نسبتاً دقیقی را در رتبه‌بندی و انتخاب گزینه‌های پیشنهادی مختلف بر اساس عملکرد آن‌ها و با توجه به معیارهای ارزیابی به همراه دارد (۲۲).

گام ۱: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری:

ابعاد این ماتریس $m \times n$ است که m نشان‌دهنده تعداد گزینه‌ها (سطر) و n تعداد معیارها (ستون‌ها) است. با توجه به جدول ماتریسی این روش در سلول‌های ماتریس اعداد متناظر خاکستری بر اساس پرسش‌نامه آراس قرار می‌دهیم.

مزایای روش آراس عبارتند از:

۱. توانایی حل مسائل بسیار پیچیده
۲. سهولت استفاده برای اعمال
۳. اثربخشی
۴. سهولت گسترش به محیط‌های فازی و خاکستری

(۲۳).

$$X = \begin{bmatrix} \otimes x_{01} & \dots & \otimes x_{0j} & \dots & \otimes x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes x_{i1} & \dots & \otimes x_{ij} & \dots & \otimes x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes x_{m1} & \dots & \otimes x_{mj} & \dots & \otimes x_{mn} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$i = \overline{0, m}; \quad j = \overline{1, n}$$

بیش‌ترین مقدار هر معیار و برای معیارهای منفی، کم‌ترین مقدار هر معیار در نظر گرفته می‌شود. معیارهایی که جنبه سود دارند از نوع مثبت هستند و معیارهایی که جنبه هزینه دارند از نوع منفی هستند.

که در آن، نشان‌دهنده عملکرد گزینه i ام در معیار j ام است. $\otimes x_{0j}$ مقدار بهینه برای معیار j ام است.

گام ۲: افزودن گزینه بهینه؛

اگر مقدار بهینه متغیر j ام نامعین باشد به شکل زیر مقداری برای آن تعیین می‌کنیم. برای معیارهای مثبت

(18)

$$\otimes x_{0j} = \max_i \otimes x_{ij}, \text{ if } \max_i \otimes x_{ij} \text{ is preferable}$$

$$\otimes x_{0j} = \min_i \otimes x_{ij}^* \text{ if } \min_i \otimes x_{ij}^* \text{ is preferable}$$

تصمیم اولیه به مقادیری در بازه (۰) تبدیل می‌شوند. در این گام مقادیر ورودی اولیه برای تمامی معیارها نرمال‌سازی می‌شود و به صورت $\otimes \bar{x}_{ij}$ درآمده که درآیه‌های ماتریس $\otimes \bar{X}$ هستند که به شکل زیر تعریف می‌شود.

گام ۳: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری؛

در این مرحله باید توجه شود که معیارها دارای ابعاد^۲ متفاوتی هستند. به منظور ایجاد امکان مقایسه معیارها و برای جلوگیری از سختی‌های احتمالی ناشی از تفاوت ابعاد معیارها، باید ابتدا مقادیر را بدون بعد^۳ کنیم. با استفاده از روش نرمال‌سازی مقادیر ماتریس

$$\otimes \bar{X} = \begin{bmatrix} \otimes \bar{x}_{01} & \dots & \otimes \bar{x}_{0j} & \dots & \otimes \bar{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes \bar{x}_{i1} & \dots & \otimes \bar{x}_{ij} & \dots & \otimes \bar{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes \bar{x}_{m1} & \dots & \otimes \bar{x}_{mj} & \dots & \otimes \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = \overline{0, m}; \quad j = \overline{1, n} \quad (19)$$

- 1- Optimal
- 2- Dimensions
- 3- Dimensionless

نرمال سازی اعداد خاکستری به صورت زیر انجام می شود:

$$\otimes \bar{X}_{ij} = \frac{\otimes x_{ij}}{\sum_{i=0}^m \otimes x_{ij}^u} \quad (20)$$

اعداد کران بالا بر مجموع کران های بالا تقسیم می گردد (۲۵).
 به منظور نرمال سازی اعداد خاکستری، برای هر معیار، ابتدا مجموع کران های بالای اعداد خاکستری را محاسبه می کنیم، سپس تمامی اعداد کران پایین و

$$\otimes \bar{X}_{ij}^l = \frac{\otimes x_{ij}^l}{\sum_{i=0}^m \otimes x_{ij}^u} \quad \otimes \bar{X}_{ij}^u = \frac{\otimes x_{ij}^u}{\sum_{i=0}^m \otimes x_{ij}^u} \quad (21)$$

گام ۴: ایجاد ماتریس نرمال وزن دار؛
 وزن هر معیار w_j با $\otimes w_j$ نشان داده می شود. در این مرحله وزن ها را در ماتریس نرمال شده $\otimes \bar{X}$ ضرب می کنیم تا ماتریس $\otimes \hat{X}$ به دست آید.
 وزن های داده شده باید شروط زیر را داشته باشند:

$$0 < \otimes w_j < 1 \\ \sum_{i=1}^n w_j = 1 \quad (22)$$

$$\otimes \hat{X} = \begin{bmatrix} \otimes \hat{X}_{01} & \dots & \otimes \hat{X}_{0j} & \dots & \otimes \hat{X}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes \hat{X}_{i1} & \dots & \otimes \hat{X}_{ij} & \dots & \otimes \hat{X}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes \hat{X}_{m1} & \dots & \otimes \hat{X}_{mj} & \dots & \otimes \hat{X}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = \overline{0, m}; \quad j = \overline{1, n} \quad (23)$$

$$\otimes \hat{X}_{ij} = \otimes \bar{X}_{ij} \times \otimes w_j; \quad i = \overline{0, m} \quad (24)$$

گام ۵: محاسبه مطلوبیت کل هر گزینه؛
 که در آن، w_j وزن (اهمیت) معیار j ام و \bar{x}_{ij} مقدار نرمال شده معیار j ام است.
 در این مرحله اعداد نرمال شده وزن دار را به صورت سطری با هم جمع می کنیم.
 رابطه ۲۵ مقدار تابع بهینه^۱ را مشخص می کند:

$$\otimes S_i = \sum_{i=1}^n \otimes \hat{x}_{ij}; \quad i = \overline{0, m} \quad (25)$$

گام ۶: قطعی‌سازی عدد خاکستری $\otimes S_i$ ؛

روش‌های متعددی برای تبدیل مقدار خاکستری به مقدار قطعی وجود دارد. روش مرکز ناحیه^۱ یکی از کاربردی‌ترین و ساده‌ترین روش‌ها است که در ادامه به آن اشاره شده است.

$$S_i = \frac{1}{2}(S_{ia} + S_{ib}) \quad (26)$$

مقدار که S_0 نام دارد به دست می‌آید. معادله درجه مطلوبیت که K_i نام دارد برای گزینه A_i در ذیل تشریح شده است.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; \quad i = \overline{0, m} \quad (27)$$

نتایج و بحث

در جدول ۱، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فرسایش خاک در استان فارس که براساس بررسی پیشینه پژوهش و نظر کارشناسان به دست آمده، ارائه شده است.

که در آن، $\otimes S_i$ مقدار تابع بهینه برای گزینه i است. بهترین گزینه، گزینه‌ای است که بالاترین ارزش تابع بهینه را داشته باشد. و بدترین گزینه، گزینه‌ای است که کم‌ترین ارزش تابع بهینه را داشته باشد. اولویت گزینه‌ها بر اساس مقدار $\otimes S_i$ مشخص می‌شود. نتیجه تصمیم‌گیری خاکستری برای هر گزینه، عدد خاکستری $\otimes S_i$ است.

گام ۷: محاسبه درجه مطلوبیت هر گزینه و رتبه‌بندی گزینه‌ها؛

درجه مطلوبیت هر گزینه از مقایسه آن با بهترین

که در آن، S_0 و S_i از رابطه ۲۵ به دست آمده‌اند. مقدار K_i در بازه (۰، ۱) قرار دارد. براساس مقادیر K_i گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند و هر گزینه که K_i آن بزرگتر است رتبه اول را دارد.

جدول ۱- معیارهای تأثیرگذار بر فرسایش خاک.

Table 1. Criteria affecting soil erosion.

خبرگان Experts	مرجع Reference										نماد Symbol	معیار Criterion	حوزه Field
	(30)	(29)	(28)	(11)	(9)	(3)	(6)	(27)	(5)	(26)			
				✓							C ₁	پایداری پایین خاکدانه Low soil stability	۱. فنی Technical
				✓							C ₂	نفوذپذیری پایین خاک Low soil permeability	
				✓							C ₃	عمق کم خاک Shallow soil	
							✓	✓			C ₄	فرسایش پذیری خاک Soil erodibility	
							✓	✓			C ₅	شرایط توپوگرافی (طول شیب، درجه و جهت شیب) Topographic conditions (slope length, slope degree and direction)	
✓											C ₆	تراکم و فشردگی خاک Soil compaction	
				✓							C ₇	مقدار و نوع رس های فعال Amount and type of active clay	۲. شیمیایی Chemical
✓	✓			✓							C ₈	کاهش مواد آلی خاک Reduction of soil organic matter	
	✓										C ₉	افزایش شوری و قلیانیت خاک Increasing soil salinity and alkalinity	
✓				✓						✓	C ₁₀	مصرف بی رویه علف کش ها، سموم و کودهای شیمیایی به جای کود حیوانی Excessive use of herbicides, poisons and chemical fertilizers instead of animal manure	۳. اجتماعی Social
				✓	✓	✓			✓		C ₁₁	چرای بی رویه دام در دامداری سنتی Excessive grazing of livestock in traditional livestock farming	
✓						✓			✓		C ₁₂	مدیریت غلط خاک (چند کشتی، حذف بقایای زراعی، پوشش گیاهی کم، شخم زیاد، کشت ردیفی و...) Improper soil management (several tillage, removal of crop residues, low vegetation cover, excessive plowing, row cultivation)	
		✓							✓		C ₁₃	تغییر کاربری نامناسب اراضی Improper land use change	
									✓	✓	C ₁₄	کشت در دامنه های شیب دار و شخم اراضی شیب دار Cultivation on steep slopes and plowing of steep lands	
✓											C ₁₅	آبیاری به روش سنتی Traditional irrigation	
✓											C ₁₆	برداشت بی رویه از سفره های آب زیرزمینی Indiscriminate extraction of underground water tables	
✓											C ₁₇	رعایت نکردن اصول حفاظت خاکورزی Failure to observe the principles of agricultural protection	

ادامه جدول ۱-۱

Continue Table 1.

خبرگان Experts	مرجع Reference										نماد Symbol	معیار Criterion	حوزه Field
	(30)	(29)	(28)	(11)	(9)	(3)	(6)	(27)	(5)	(26)			
				✓		✓	✓		✓		C ₁₈	از بین رفتن پوشش گیاهی Loss of vegetation	۴. زیست‌محیطی Environmental
✓				✓							C ₁₉	جنگل‌زدایی و تخریب زیست‌بوم Deforestation and ecosystem destruction	
		✓		✓							C ₂₀	ایجاد روان آب‌های سطحی Creation of surface water runoff	
✓											C ₂₁	حفار آبراهه‌ها در شیب Digging water channels in the slope	
									✓		C ₂₂	زهکشی ضعیف Weak drainage	
										✓	C ₂₃	فقدان آبراهه‌های انحراف از مسیر Lack of diversion waterways	
	✓			✓	✓	✓			✓	✓	C ₂₄	خشکسالی و کاهش بارندگی Drought and reduced rainfall	
✓				✓							C ₂₅	آتش‌سوزی Fire	
								✓			C ₂₆	طوفان و وزش باد شدید Storm and strong wind	
✓											C ₂₇	پراکندگی اقلیم Climate dispersion	
✓											C ₂₈	رائش زمین Landslide	
✓											C ₂₉	بارش شدید Heavy rain	

کم‌اهمیت‌ترین معیار در رتبه آخر قرار گیرد. سپس سایر گام‌های روش سوارا خاکستری انجام شد و در نهایت وزن نرمال نهایی معیارها محاسبه گردید که در جدول ۲ ارائه شده است.

به منظور محاسبه وزن معیارها با روش سوارا خاکستری، در ابتدا از کارشناسان خواسته شد تا معیارها را براساس ارزش و اهمیت به صورت نزولی مرتب کنند و مهم‌ترین معیار در رتبه اول و

جدول ۲- محاسبه وزن معیارهای مؤثر بر فرسایش خاک.

Table 2. Calculating the weight of criteria affecting soil erosion.

j	معیار Criterion	تعیین اهمیت نسبی هر معیار Determine the relative importance of each criterion (S _j)	تعیین ضریب K _j Determining the K _j coefficient K _j = S _j + [1,1]	وزن اولیه هر معیار The initial weight of each criterion $q_j = \frac{q_{j-1}}{K_j}$	وزن نرمال نهایی Final normal weight $W_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j}$
1	C ₄	[0,0]	[1, 1]	[1,1]	[0.4069, 0.4773]
2	C ₁	[0.7667, 0.9667]	[1.7667, 1.9667]	[0.5085, 0.5660]	[0.2069, 0.2702]
3	C ₁₉	[0.6667, 0.8667]	[1.6667, 1.8667]	[0.2724, 0.3396]	[0.1109, 0.1621]
4	C ₁₄	[0.7667, 0.9667]	[1.7667, 1.9667]	[0.1385, 0.1922]	[0.0564, 0.0918]
5	C ₁₈	[0.75, 0.95]	[1.75, 1.95]	[0.0710, 0.1098]	[0.0289, 0.0524]
6	C ₈	[0.4333, 0.7]	[1.4333, 1.7]	[0.0418, 0.0766]	[0.0170, 0.0366]
7	C ₃	[0.4083, 0.6583]	[1.4083, 1.6583]	[0.02519, 0.05442]	[0.0103, 0.0259]
8	C ₂₆	[0.275, 0.525]	[1.275, 1.525]	[0.0165, 0.0427]	[0.0067, 0.0204]
9	C ₂₉	[0.4917, 0.7417]	[1.4917, 1.7417]	[0.0095, 0.02861]	[0.0039, 0.01366]
10	C ₁₇	[0.7667, 0.9667]	[1.7667, 1.9667]	[0.0048, 0.0162]	[0.0019, 0.0077]
11	C ₂₃	[0.225, 0.475]	[1.225, 1.475]	[0.0033, 0.0132]	[0.0013, 0.0063]
12	C ₁₂	[0.7667, 0.9667]	[1.7667, 1.9667]	[0.0017, 0.0075]	[0.0007, 0.0035]
13	C ₂₈	[0.75, 0.95]	[1.75, 1.95]	[0.0008, 0.0043]	[0.0004, 0.0020]
14	C ₂	[0.7667, 0.9667]	[1.7667, 1.9667]	[0.0004, 0.0024]	[0.0002, 0.0012]
15	C ₅	[0.7333, 0.9333]	[1.7333, 1.9333]	[0.0002, 0.0014]	[0.000091, 0.00067]
16	C ₂₀	[0.7667, 0.9667]	[1.7667, 1.9667]	[0.0001, 0.0008]	[0.000046, 0.00038]
17	C ₁₁	[0.75, 0.95]	[1.75, 1.95]	[0.00006, 0.00045]	[0.000024, 0.00022]
18	C ₆	[0.7667, 0.9667]	[0.7667, 0.9667]	[0.000029, 0.00025]	[0.000012, 0.00012]
19	C ₂₄	[0.7667, 0.9667]	[0.7667, 0.9667]	[0.000015, 0.00014]	[0.0000062, 0.000069]
20	C ₂₁	[0.1333, 0.3333]	[1.1333, 1.3333]	[0.000011, 0.00013]	[0.0000046, 0.000061]
21	C ₁₃	[0.75, 0.95]	[1.75, 1.95]	[0.000006, 0.000073]	[0.0000024, 0.000035]
22	C ₁₀	[0.4333, 0.7]	[1.4333, 1.7]	[0.000003, 0.000051]	[0.0000014, 0.000024]
23	C ₇	[0.475, 0.725]	[1.475, 1.725]	[0.0000019, 0.000035]	[0.00000081, 0.000016]
24	C ₁₆	[0.6667, 0.8667]	[1.6667, 1.8667]	[0.0000011, 0.000021]	[0.00000043, 0.0000099]
25	C ₁₅	[0.2583, 0.5083]	[1.2583, 1.5083]	[0.00000070, 0.000016]	[0.00000029, 0.0000079]
26	C ₉	[0.75, 0.95]	[1.75, 1.95]	[0.00000036, 0.0000094]	[0.00000015, 0.0000045]
27	C ₂₂	[0.7667, 0.9667]	[1.7667, 1.9667]	[0.00000018, 0.0000053]	[0.000000075, 0.0000025]
28	C ₂₅	[0.3, 0.5667]	[1.3 , 1.5667]	[0.00000012, 0.0000041]	[0.000000048, 0.0000019]
29	C ₂₇	[0.7667, 0.9667]	[1.7667, 1.9667]	[0.000000059, 0.0000023]	[0.000000024, 0.0000011]

تصمیم‌گیری نهایی حاصل شود. سپس متغیرهای زبانی را با استفاده از جدول ۴ به اعداد خاکستری تبدیل نموده تا جدول تصمیم‌گیری نهایی با اعداد خاکستری به دست آید.

پس از محاسبه وزن معیارها، از کارشناسان خواسته شد تا هر یک از راهکارهای جلوگیری از فرسایش خاک را که در جدول ۳ ارائه شده است، براساس معیارهای ذکر شده و با استفاده از مقیاس‌های کیفی جدول ۴ مورد ارزیابی قرار دهند تا ماتریس

جدول ۳- روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک.

Table 3. Methods of preventing soil erosion.

نماد Symbol	روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک Methods of preventing soil erosion	مرجع Reference							
		(26)	(3)	(31)	(11)	(28)	(2)	(29)	(32)
A ₁	سیستم کشت بدون شخم، استفاده از شخم حفاظتی، شخم سطحی و جلوگیری از شخم در امتداد شیب Cultivation system without plowing, using protective plowing, surface plowing and avoiding plowing along the slope				✓				✓
A ₂	تزریق مواد آلی به خاک (مانند کود دامی، کود کمپوست، استفاده از بیوجار) Injecting organic matter into the soil (such as animal manure, compost, using biochar)		✓			✓		✓	✓
A ₃	مالچ‌پاشی آلی یا مصنوعی در سطح خاک و همچنین بکارگیری روش‌های مهندسی زیستی نظیر باکتری‌های تثبیت‌کننده خاک Organic or artificial mulching on the soil surface and also using biological engineering methods such as soil stabilizing bacteria								✓
A ₄	استفاده از بادشکن‌های طبیعی یا مصنوعی برای کنترل سرعت باد Using natural or artificial windbreaks to control wind speed							✓	
A ₅	احیا و اصلاح و محافظت از مراتع و گیاهان پوششی Revival and improvement and protection of pastures and cover plants						✓		✓
A ₆	سازمانده‌های جمع‌آوری آب باران و تغییر سیستم آبیاری نظیر باران‌های مصنوعی آبیاری قطره‌ای Rainwater collection systems and changing the irrigation system such as artificial rain and drip irrigation						✓		✓
A ₇	تناوب کشت Crop rotation							✓	
A ₈	حفظ بقایای گیاهی و جلوگیری از آتش زدن بوته‌ها و گونه‌ها و درختچه‌های خودرو Preserving plant remains and preventing burning bushes and shrubs							✓	✓
A ₉	استفاده از شیب‌شکن، کانال‌های حریق‌شکن، تراس‌بندی و سکون‌بندی، گابیون و بندها و همچنین ایجاد آبراه‌های انحرافی The use of slope breakers, fire-break channels, terracing and scaffolding, gabions and dams, as well as the creation of diverted waterways						✓		✓

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

نماد Symbol	روش های جلوگیری از فرسایش خاک Methods of preventing soil erosion	مرجع Reference							
		(32)	(29)	(2)	(28)	(11)	(31)	(3)	(26)
A ₁₀	کشت کنتوری و کشت نواری و کشاورزی عمودی Counter cultivation and strip cultivation and vertical agriculture				✓		✓	✓	
A ₁₁	ترویج خاک‌ورزی حفاظتی و ترویج کشاورزی هوشمند Promotion of conservation tillage and promotion of smart agriculture	✓			✓		✓	✓	
A ₁₂	تصویب و اجرای قوانین حفاظت از خاک و منابع طبیعی نظیر جنگل‌ها و ترویج گارگاه‌های آموزشی و ترویجی Approving and implementing the laws for the protection of soil and natural resources such as forests and the promotion of educational and extension workshops	✓							✓
A ₁₃	عدم تغییر کاربری نامناسب اراضی Non change of lands inappropriate use	✓							
A ₁₄	توسعه کانال‌های زهکشی و احیاء و مرمت قنوات Development of drainage canals and rehabilitation and restoration of canals	✓			✓				✓
A ₁₅	فرق مرتع و پرچین بندی و ترویج دامداری صنعتی Grazing pastures and hedges and promotion of industrial animal husbandry	✓	✓	✓	✓		✓		

جدول ۴- متغیرهای زبانی متناظر با اعداد خاکستری (۲۴).

Table 4. Linguistic variables corresponding to grey numbers (24).

متغیرهای زبانی Linguistic variables	عدد خاکستری متناظر The corresponding grey number
خیلی کم Very Low	0-0.2
کم Low	0.1-0.3
متوسط رو به پایین Medium Low	0.2-0.4
متوسط Medium	0.35-0.65
متوسط رو به بالا Medium High	0.6-0.8
زیاد High	0.7-0.9
خیلی زیاد Very High	0.8-1

خاکستری است، به منظور مقایسه این اعداد با یکدیگر با استفاده از رابطه ۲۶ آن‌ها را به شکل اعداد غیر خاکستری و قطعی درآورده و با کمک رابطه ۲۷ درجه مطلوبیت هر گزینه (K_i) را به دست آورده و در نهایت گزینه‌ها را بر مبنای مقدار درجه مطلوبیت متناظر با هر یک از آن‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. نتایج نهایی در جدول ۵ نشان داده شده است.

در گام بعد با توجه به رابطه ۱۸ گزینه ایده‌آل را به دست آورده و جدول تصمیم‌گیری نهایی را با کمک روابط ۲۰ و ۲۱ نرمال‌سازی نموده، سپس وزن نهایی معیارها را با استفاده از رابطه ۲۴ در ستون متناظر با هر معیار ضرب نموده تا ماتریس تصمیم نرمال موزون به دست آید. سپس مطلوبیت کل هر گزینه (S_i) با استفاده از رابطه ۲۵ به دست می‌آید. با توجه به این‌که مقادیر به دست آمده به صورت اعداد

جدول ۵- نتایج نهایی روش آراس خاکستری.

Table 5. Final results of Grey ARAS method.

گزینه‌ها Alternatives	مطلوبیت کل هر گزینه (S_i) Total utility of each Alternative	قطعی‌سازی S_i Deterministic S_i	درجه مطلوبیت هر گزینه (K_i) Utility degree of each Alternative	رتبه Rank
گزینه بهینه Optimal Value (A0)	[0.0698, 0.0905]	0.0801	1	
A ₁	[0.0434, 0.0675]	0.0555	0.6920	9
A ₂	[0.0501, 0.0727]	0.0614	0.7664	3
A ₃	[0.0488, 0.0709]	0.0598	0.7466	4
A ₄	[0.0264, 0.0513]	0.0389	0.4849	14
A ₅	[0.0351, 0.0603]	0.0477	0.5953	12
A ₆	[0.0433, 0.0691]	0.0562	0.7014	8
A ₇	[0.0322, 0.0596]	0.0459	0.5727	13
A ₈	[0.0465, 0.0716]	0.0591	0.7369	6
A ₉	[0.0438, 0.0695]	0.0567	0.7070	7
A ₁₀	[0.0401, 0.0676]	0.0538	0.6713	11
A ₁₁	[0.0598, 0.0813]	0.0705	0.8801	2
A ₁₂	[0.0630, 0.0848]	0.0739	0.9222	1
A ₁₃	[0.0410, 0.0693]	0.0551	0.6880	10
A ₁₄	[0.0256, 0.0462]	0.0359	0.4475	15
A ₁₅	[0.0481, 0.0710]	0.0596	0.7435	5

گردید. و با استفاده از روش آراس خاکستری، روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک، اولویت‌بندی شدند. این دو رویکرد از جمله مهم‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره هستند. از جمله دلایل استفاده از این روش‌ها، می‌توان به استفاده از داده‌های مقایسه‌ای کم‌تر به علت عدم استفاده از مقایسات زوجی کامل اشاره کرد. و این روش‌ها بیش‌تر مورد پذیرش خبرگان است. هم‌چنین روش سوارا جواب‌های مطمئن‌تری نسبت به سایر روش‌های وزن‌دهی می‌دهد (۳۳). روش آراس از نظر سادگی با روش‌های تصمیم‌گیری پرکاربرد مانند ویکور و تاپسیس قابل مقایسه است. نتایج به دست آمده نشان داد معیارهای «فرسایش‌پذیری خاک»، «پایداری پایین خاکدانه»، «جنگل‌زدایی و تخریب زیست‌بوم»، «کشت در دامنه‌های شیب‌دار و شخم اراضی شیب‌دار»، «از بین رفتن پوشش گیاهی» و «کاهش مواد آلی خاک» به ترتیب مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش خاک می‌باشند. هم‌چنین «تصویب و اجرای قوانین حفاظت از خاک و منابع طبیعی مانند جنگل‌ها و ترویج گارگاه‌های آموزشی و ترویجی»، «ترویج خاک‌ورزی حفاظتی و ترویج کشاورزی هوشمند»، «افزودن مواد آلی به خاک» و «مالچ‌پاشی آلی یا مصنوعی در سطح خاک و هم‌چنین به‌کارگیری روش‌های مهندسی زیستی مانند باکتری‌های تثبیت‌کننده خاک» مهم‌ترین راهکارهای جلوگیری از فرسایش خاک در استان فارس هستند. در همین راستا، در پژوهش وحیدی و همکاران (۲۰۲۰) وزن معیارها و زیرمعیارها با استفاده از روش بهترین-بدترین محاسبه شده است و اولویت‌بندی روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک در شهرستان درمیان استان خراسان جنوبی با روش ویکور انجام شده است. که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش خاک به ترتیب «پایداری خاکدانه»، «ظرفیت نفوذ آب» و «عمق

با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۲، در این پژوهش معیارهای «فرسایش‌پذیری خاک»، «پایداری پایین خاکدانه»، «جنگل‌زدایی و تخریب زیست‌بوم»، «کشت در دامنه‌های شیب‌دار و شخم اراضی شیب‌دار»، «از بین رفتن پوشش گیاهی و کاهش مواد آلی خاک» به ترتیب مهم‌ترین عوامل فرسایش خاک می‌باشند. هم‌چنین در میان راهکارهای جلوگیری از فرسایش خاک، براساس جدول ۵، تصویب و اجرای قوانین حفاظت از خاک و منابع طبیعی مانند جنگل‌ها و ترویج گارگاه‌های آموزشی و ترویجی (A₁₂)، ترویج خاک‌ورزی حفاظتی و ترویج کشاورزی هوشمند (A₁₁)، افزودن مواد آلی به خاک (A₂)، مالچ‌پاشی آلی یا مصنوعی در سطح خاک و هم‌چنین به‌کارگیری روش‌های مهندسی زیستی مانند باکتری‌های تثبیت‌کننده خاک (A₃) و قرق مرتع و پرچین‌بندی و ترویج دامداری صنعتی (A₁₅) به عنوان مهم‌ترین گزینه‌ها برای جلوگیری از فرسایش خاک انتخاب شدند.

نتیجه‌گیری کلی

از آن‌جا که فرسایش خاک یکی از معضلات اصلی کشور است و فرسایش خاک در ایران با سرعت زیادی در حال پیش‌روی است، موضوع عوامل مؤثر بر فرسایش خاک و برنامه‌های کنترل فرسایش خاک بیش از گذشته باید مورد توجه قرار گیرد. این مطالعه با هدف ارزیابی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک و ارائه راهکارهایی به منظور جلوگیری از فرسایش خاک در استان فارس انجام شده است. عواملی که منجر به فرسایش خاک می‌شوند از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند، بنابراین نیاز به بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که عوامل مختلف را در نظر گیرد. در این پژوهش با استفاده از روش سوارا خاکستری وزن عوامل مؤثر بر فرسایش خاک محاسبه

فرسایش‌زدایی از خاک هدفمندتر صورت پذیرد. و می‌تواند بازدهی محیط‌زیست را بالا برده و منجر به بهبود کارایی شود. همچنین علی‌رغم این‌که میزان و شدت فرسایش خاک در ایران در مقایسه با سایر کشورها در سطح دنیا در وضعیت بسیار بالاتری برآورد شده است، ولی تاکنون به طور کاربردی میزان این فرسایش با دقت بالا تعیین نشده است. خوشبختانه در سال‌های اخیر فعالیت‌های گسترده‌ای در تهیه نقشه‌های خاکشناسی به صورت رقومی صورت گرفته است که امید می‌رود با به‌کارگیری فاکتورهای بیشتری از ویژگی‌های خاک که در تهیه این نقشه‌ها اعمال می‌شود بتوان در جلوگیری از فرسایش بیش‌تر خاک‌ها قدم‌های مؤثرتری برداشته شود. پژوهش‌گران در پژوهش‌های آتی می‌توانند از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز استفاده کنند. هم‌چنین با افزایش تعداد معیارها و گزینه‌ها حجم ارزیابی‌ها توسط خبرگان و انجام محاسبات به‌شدت افزایش می‌یابد، بنابراین به‌کارگیری الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری توصیه می‌شود.

خاک" بوده است. و مهم‌ترین روش‌های جلوگیری از بروز فرسایش خاک نیز "بیوچار"، "کاشت طاق" و "تزریق کود و مواد آلی" ذکر شده است (۱۱). أسلم و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود اعلام کردند که ارتفاع، شیب، انحنای و بارندگی عوامل غالبی هستند که بر فرسایش خاک تأثیر می‌گذارند (۵). براساس نتایج پژوهش زنگی‌آبادی و همکاران (۲۰۱۰) مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده فرسایش خاک "درصد تراکم پوشش گیاهی" است (۱۲). هدف کاربردی پژوهش کمک به مدیران در بخش‌های اجرایی حوزه آب و خاک و کشاورزی به‌منظور انتخاب بهترین گزینه‌ها و تصمیمات با معرفی و کاربرد روش‌های علمی تصمیم‌گیری می‌باشد. یافته‌ها و خروجی‌های پژوهش به‌منظور انتخاب و اجرای بهترین استراتژی‌های مدیریت فرسایش خاک بسیار مفید خواهد بود. با تعیین مهم‌ترین عوامل فرسایش خاک و اولویت‌بندی راهکارهای جلوگیری از فرسایش خاک، این امکان ایجاد می‌گردد تا در صورت محدود بودن منابع، نیروها و یا زمان، عوامل مهم‌تر ایجاد فرسایش خاک درست شناسایی و هدف‌گیری شود و با رفع آن،

منابع

1. Das, B., Bordoloi, R., Thungon, L.T., Paul, A., Pandey, P.K., Mishra, M., and Tripathi, O.P. 2020. An integrated approach of GIS, RUSLE and AHP to model soil erosion in West Kameng watershed, Arunachal Pradesh. *Journal of Earth System Science*. 129: 1. 1-18.
2. Sadhasivam, N., Bhardwaj, A., Pourghasemi, H.R., and Kamaraj, N.P. 2020. Morphometric attributes-based soil erosion susceptibility mapping in Dnyanganga watershed of India using individual and ensemble models. *Environmental Earth Sciences*. 79: 14. 1-28.
3. Ahmad, N.S.B.N., Mustafa, F.B., and Didams, G. 2020. A systematic review of soil erosion control practices on the agricultural land in Asia. *International Soil and Water Conservation Research*. 8: 2. 103-115.
4. Bhandari, D., Joshi, R., Regmi, R.R., and Awasthi, N. 2021. Assessment of Soil Erosion and Its Impact on Agricultural Productivity by Using the RMMF Model and Local Perception: A Case Study of Rangun Watershed of Mid-Hills, Nepal. *Applied and Environmental Soil Science*. 2021.1-10. <https://doi.org/10.1155/2021/5747138>.
5. Aslam, B., Maqsoom, A., Alaloul, W.S., Musarat, M.A., Jabbar, T., and Zafar, A. 2021. Soil erosion susceptibility mapping using a GIS-based multi-criteria decision approach: Case of district Chitral,

- Pakistan. *Ain Shams Engineering Journal*. 12: 2. 1637-1649.
6. Jin, F., Yang, W., Fu, J., and Li, Z. 2021. Effects of vegetation and climate on the changes of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Science of the Total Environment*. 773. 145514. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145514>.
 7. Teka, K., Haftu, M., Ostwald, M., and Cederberg, C. 2020. Can integrated watershed management reduce soil erosion and improve livelihoods? A study from northern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 8: 3. 266-276.
 8. Luetzenburg, G., Bittner, M.J., Calsamiglia, A., Renschler, C.S., Estrany, J. and Poepl, R. 2020. Climate and land use change effects on soil erosion in two small agricultural catchment systems Fugnitz–Austria, Can Revull–Spain. *Science of the Total Environment*. 704. 135389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135389>.
 9. Arabameri, A., Pourghasemi, H.R., and Cerda, A. 2018. Erodibility Prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models. *Science of the Total Environment*. 613: 1385-1400.
 10. Sinshaw, B.G., Belete, A.M., Tefera, A.K., Dessie, A.B., Bizuneh, B.B., Alem, H.T., Atanaw, S.B., Eshete, D.G., Wubetu, T.G., Atinkut, H.B., and Moges, M.A. 2021. Prioritization of potential soil erosion susceptibility region Using fuzzy Logic and Analytical Hierarchy process, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Water-Energy Nexus*. 4: 10-24.
 11. Vahidi, M., Mirabbasi Najafabadi, R., and Ahmadi, M. 2020. Analysis and ranking of soil erosion prevention methods using multi-criteria decision-making methods in rural areas of Darmian County, South Khorasan. *Hydrogeomorphology*. 7: 23. 233-209. (In Persian)
 12. Zangiabadi, M., Rangavar, A., Rafahi, H., Shorafa, M., and Bihamta, M. 2010. Investigation of the most Important Factors Affecting on Soil Erosion in Kalat Semi-Arid Rangelands. *Journal of Water and Soil*, 24: 4. 737-744. (In Persian)
 13. Mohammadi, S., Karimzadeh, H., and Alizadeh, M. 2018. Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model. *Iranian Journal of Ecohydrology*. 5: 2. 551-569. (In Persian)
 14. Goli Mokhtari, L., Hshafiei, N., and Rahmani, A. 2019. The Estimation of Soil Erosion Using the RUSLE Model (Case Study: Noorabad Mamasani Basin). *Hydrogeomorphology*, 5: 17. 1-21. (In Persian)
 15. Eshtaiwi, M.I., Badi, I.A., Abdulshahed, A.M., and Erkan, T.E. 2017. Assessment of Airport Performance Using the Grey Theory Method: A Case Study in Libya. *Grey Systems: Theory and Application*. 7: 3. 426-436.
 16. Mohammadi, A., and Molaei, N. 2010. Applying a Multi Criteria Decision Making Model Based On Grey Theory In Performance Evaluation Of Firms. *Industrial Management Journal*. 2: 1. 125-142. (In Persian)
 17. Voskoglou, M.Gr., and Theodorou, Y.A. 2017. Application of Grey Numbers to Assessment Processes. *International Journal of Applications of Fuzzy Sets and Artificial Intelligence*. 7: 273-280.
 18. Keršuliene, V., Zavadskas, E.K., and Turskis, Z. 2010. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*. 11: 2. 243-258.
 19. Heidary Dahooie, J., Hosseini Dehshiri, S. J., Banaitis, A., and Binkytė-Vėlienė, A. 2020. Identifying and prioritizing cost reduction solutions in the supply chain by integrating value engineering and gray multi-criteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*. 26: 6. 1311-1338.
 20. Fazli, S., and Jamaati Tafti, R. 2017. Preprocessing Multiple Criteria Decision- Making Using Data Mining (Case Study: Selection of third party

- logistic in outsourcing warranty services of an electronic facilities company). *Modern Research in Decision Making*, 2: 3. 215-239. (In Persian)
21. Mavi, R.K., Zarbakhshnia, N., and Khazraei, A. 2018. Bus rapid transit (BRT): A simulation and multicriteria decision making (MCDM) approach. *Transport Policy*. 72: 187-197.
22. Ghenai, C., Albawab, M., and Bettayeb, M. 2020. Sustainability indicators for renewable energy systems using multi-criteria decision-making model and extended SWARA/ARAS hybrid method. *Renewable Energy*, 146: 580-597.
23. Büyüközkan, G., and Güler, M. 2020. Smart watch evaluation with integrated hesitant fuzzy linguistic SAW-ARAS technique. *Measurement*, 153: 107353.
24. Turskis, Z., Zavadskas, E.K., and Kutut, V. 2013. A model based on ARAS-G and AHP methods for multiple criteria prioritizing of heritage value. *International Journal of Information Technology & Decision Making*. 12: 01. 45-73.
25. Hosseinzadeh Lotfi, F., and Fallahnejad, R. 2010. Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making. *Entropy*. 12: 1. 53-62.
26. Huang, Y., Li, P., A, Q., Mao, F., Zhai, W., Yu, K., and He, Y. 2021. Long-term land use/cover changes reduce soil erosion in an ionic rare-earth mineral area of southern China. *Land Degradation and Development*. 32: 14. 4042-4055.
27. Fenta, A.A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Tsubo, M., Yasuda, H., Kawai, T., Ebabu, K., Berihun, M.L., Belay, A.S., and Sultan, D. 2021. Agroecology-based soil erosion assessment for better conservation planning in Ethiopian river basins. *Environmental Research*. 195.110786. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110786>.
28. Abdollahzadeh, G.H., Jahangir, L., and Sharifzadeh, M.Sh. 2018. Awareness of Soil Erosion Consequences and Conservation Strategies in Rural Areas of Chehel Chay Golestan Watershed. *Geography and Environmental Planning*. 29: 1. 1-20. (In Persian)
29. Zamanzadeh, S.M., and Ahmadi, M. 2013. The effect of physical and chemical properties of soil on the formation and spread of moat erosion (Case study: Fars, Kahour Lamerd plain region). *Quantitative Geomorphological Research*, 2: 2. 135-156. (In Persian)
30. Kohneh Shahri, L., and Sadeghi, H. 2005. Estimation of economic effects of soil erosion in Iran. *Sustainable Growth and Development Research (Economic Research)*. 5: 15. 87-100. (In Persian)
31. Chalise, D., Kumar, L., and Kristiansen, P. 2019. Land degradation by soil erosion in Nepal: a review. *Soil Systems*. 3: 1. 12. <https://doi.org/10.3390/soilsystems3010012>.
32. Abedenei, M. 2009. Quantitative Analysis of Hydro-Geomorphology Problems of the Likvan Chay Basin with Emphasis to Soil Erosion and Sedimentation (South - East of Adebil). *Geography and Development Iranian Journal*. 7: 15. 71-88. (In Persian)
33. Hosseini Dehshiri, S., and Heydari Dehooei Zohrabi, J. 2019. Using Gray Numbers Theory in Multi-Attribute Decision Making Methods for the Evaluation the Risk of Outsourcing of Information Technology Projects. *BI Management Studies*, 7: 28. 167-198. (In Persian)

